



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105210189 B

(45)授权公告日 2018.12.07

(21)申请号 201480028203.X

(22)申请日 2014.04.01

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105210189 A

(43)申请公布日 2015.12.30

(30)优先权数据
61/807,058 2013.04.01 US
14/198,175 2014.03.05 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.11.16

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/032579 2014.04.01

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/165544 EN 2014.10.09

(73)专利权人 科磊股份有限公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 勇·霍·亚历克斯·庄
戴维·L·布朗 约翰·费尔登

(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287
代理人 张世俊

(51)Int.Cl.
H01L 27/146(2006.01)

(56)对比文件
CN 102130218 A, 2011.07.20,
US 2012012811 A1, 2012.01.19,
US 4297587 A, 1981.10.27,
US 5146296 A, 1992.09.08,
JP 2004031452 A, 2004.01.29,
审查员 庞远

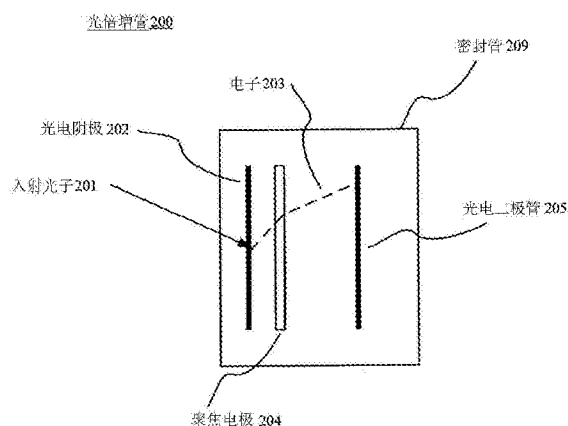
权利要求书2页 说明书10页 附图11页

(54)发明名称

光倍增管、图像传感器及使用PMT或图像传感器的检验系统

(57)摘要

本发明揭示一种光倍增管,其包含半导体光电阴极及光电二极管。值得注意地,所述光电二极管包含:p掺杂型半导体层;n掺杂型半导体层,其形成于所述p掺杂型半导体层的第一表面上,以形成二极管;及纯硼层,其形成于所述p掺杂型半导体层的第二表面上。在所述半导体光电阴极与所述光电二极管之间的间隙可为小于约1毫米或小于约500微米。所述半导体光电阴极可包含氮化镓,例如一或多个p掺杂型氮化镓层。在其它实施例中,所述半导体光电阴极可包含硅。此半导体光电阴极可进一步包含在至少一个表面上的纯硼涂层。



1. 一种光倍增管,其包括:
半导体光电阴极;及
光电二极管,其包含:
p掺杂型半导体层;
n掺杂型半导体层,其形成于所述p掺杂型半导体层的第一表面上以形成二极管;及
纯硼层,其形成于所述p掺杂型半导体层的第二表面上,其中所述半导体光电阴极包括硅,且其中所述半导体光电阴极进一步包括在至少一个表面上的纯硼涂层。
2. 根据权利要求1所述的光倍增管,其中所述半导体光电阴极与所述光电二极管之间的间隙小于1毫米。
3. 根据权利要求2所述的光倍增管,其中所述半导体光电阴极与所述光电二极管之间的间隙小于500微米。
4. 根据权利要求1所述的光倍增管,其中所述半导体光电阴极的所述硅包括相对的表面,且所述半导体光电阴极包括分别设置于所述相对的表面上的第一纯硼涂层和第二纯硼涂层。
5. 根据权利要求1所述的光倍增管,其中所述半导体光电阴极进一步包括 (a) 设置于所述硅的光接收表面上的抗反射层;或 (b) 设置于所述硅的电子发射表面上的活化层。
6. 一种用于检验样品的系统,所述系统包括:
激光系统,其用于产生光;
第一组件,其用于将所述光引导到所述样品;
一或多个检测器;及
第二组件,其用于将光从所述样品引导到所述一或多个检测器,
所述一或多个检测器包含光倍增管,所述光倍增管包括:
半导体光电阴极;及
光电二极管,其包含:
p掺杂型半导体层;
n掺杂型半导体层,其形成于所述p掺杂型半导体层的第一表面上以形成二极管;及
纯硼层,其形成于所述p掺杂型半导体层的第二表面上,其中所述半导体光电阴极包括硅,所述硅具有在至少一个表面上的纯硼涂层。
7. 根据权利要求6所述的系统,其中所述半导体光电阴极包括 (a) 反射模式光电阴极;或 (b) 透射模式光电阴极。
8. 根据权利要求7所述的系统,当取决于选项 (b) 时,其中所述光电阴极进一步包括抗反射层。
9. 根据权利要求6所述的系统,其中所述第一组件以斜入射角将所述光引导到所述样品。
10. 根据权利要求6所述的系统,其中在所述一或多个检测器为包括两个检测器的多个检测器的情况时,所述两个检测器经配置以使得第一检测器响应于在第一方向上从所述样品散射或反射的光,且第二检测器响应于在第二方向上从所述样品散射或反射的光,所述第二方向不同于所述第一方向。
11. 根据权利要求6所述的系统,其中所述光倍增管进一步包括窗,所述窗经配置以透

过被从所述样品到所述一或多个检测器引导的所述光,所述窗包含涂布在至少一个表面上的UV抗反射涂层。

12.一种用于检验样品的系统,所述系统包括:

激光系统,其用于产生光;

第一组件,其用于将所述光引导到所述样品;

一或多个检测器;及

第二组件,其用于将光从所述样品引导到所述一或多个检测器,

其中所述一或多个检测器包含电子轰击图像传感器,所述电子轰击图像传感器包括:

半导体光电阴极;及

固态图像传感器,其包含:

p掺杂型外延生长半导体层;

栅极电介质层,其形成于所述p掺杂型外延生长半导体层的第一表面上;及

纯硼层,其形成于所述p掺杂型外延生长半导体层的暴露部分上,

其中所述半导体光电阴极包括硅,且

其中所述半导体光电阴极进一步包括在至少一个表面上的纯硼涂层。

13.根据权利要求12所述的系统,其中所述光电阴极进一步包含抗反射层。

14.根据权利要求12所述的系统,其中所述电子轰击图像传感器进一步包括窗,所述窗经配置以透过被从所述样品到所述一或多个检测器引导的所述光,所述窗包含涂布在至少一个表面上的UV抗反射涂层。

15.根据权利要求12所述的系统,所述第一组件被配置用于以斜入射角度将所述光引导到所述样品。

16.根据权利要求12所述的系统,其中在所述一或多个检测器为包括第一检测器和第二检测器的多个检测器的情况时,所述第一检测器和所述第二检测器经配置以使得第一检测器响应于在第一方向上从所述样品散射或反射的光,且所述第二检测器响应于在第二方向上从所述样品散射或反射的光,所述第二方向与所述第一方向不同。

光倍增管、图像传感器及使用PMT或图像传感器的检验系统

[0001] 优先权申请案

[0002] 此申请案主张2013年4月1日申请的标题为“PMT、图像传感器和使用PMT或图像传感器的检验系统 (PMT, Image Sensor, and an Inspection System Using a PMT or Image Sensor)”的美国临时专利申请案61/807,058的优先权,且所述专利申请案以引用的方式并入本文中。

[0003] 相关申请案

[0004] 此申请案涉及2012年12月10日申请的标题为“电子轰击电荷耦合装置及使用EBCCD检测器的检验系统 (Electron-bombarded charge-coupled device and inspection systems using EBCCD detectors)”的美国专利申请案13/710,315、2012年6月12日申请的标题为“电子轰击CCD及使用电子轰击CCD检测器的检验系统 (Electron-bombarded CCD and inspection systems using electron-bombarded CCD detectors)”的美国临时专利申请案61/658,758、2013年3月10日申请的标题为“带有硼层的背照式传感器 (Back-illuminated sensor with boron layer)”的美国专利申请案13/792,166及2013年7月22日申请的标题为“包含带有硼层的硅衬底的光电阴极 (PHOTOCATHODE INCLUDING SILICON SUBSTRATE WITH BORON LAYER)”的美国专利申请案13/947,975。所有上述申请案以引用的方式并入本文中。

背景技术

[0005] 在技术中已知使用碱金属光电阴极及对红外线敏感的III-V半导体(例如GaAs)光电阴极的光倍增管(PMT)及电子轰击电荷耦合装置(EBCCD)用于红外线及可见波长。仅发现碱金属光电阴极广泛用于紫外线(UV)波长。

[0006] 图1说明已知PMT 100,其包含光电阴极102、聚焦电极104、多个电子倍增器电极105(出于说明性目的展示三个,但更常见数目将为五与十二之间),及阳极106。在真空密封管109中含有所有这些组件。光电阴极102、聚焦电极104、电子倍增器电极105及阳极106具有电连接(为简明起见未展示)。每一电子倍增器电极105保持在相对于先前电子倍增器电极105(或第一电子倍增器电极的光电阴极102)的微小正电压下。阳极106保持在相对于最后电子倍增器电极的较正的电压下。

[0007] 当由光电阴极102吸收入射光子101时,存在从光电阴极102射出一或多个电子103的适度高概率(在实际装置中通常在约10%与50%之间)。聚焦电极104偏转电子103以使大部分电子103将撞击第一电子倍增器电极。当电子103撞击电子倍增器电极105时,其将通常导致从所述电子倍增器电极105射出多个(通常约10个)二次电子。图1通过展示离开每一电子倍增器电极105的虚线比撞击其的虚线更多来说明此射出。从一个电子倍增器电极射出的大部分电子撞击下一个电子倍增器电极。此重复多次直到经放大的信号撞击阳极106。因此,在PMT中具有越多电子倍增器电极105,增益越大,但装置响应单一光子所需的时间越长。由于来自一个电子倍增器电极的一些电子可能错失下一个电子倍增器电极且撞击另一电子倍增器电极或阳极106,因此更多电子倍增器电极105也意味着响应于单一光子的更宽

泛电脉冲,且因此意味着更慢的装置。

[0008] 尽管图1说明透射光电阴极,其中从光电阴极相对于入射光子的相对侧射出光电子,但在技术中还已知反射光电阴极,其中从光电阴极的与入射光子相同的侧射出光电子。

[0009] 约350纳米和更短的UV波长对应于约3.5电子伏特(eV)和更大的光子能量。当由光电阴极102吸收高能量光子时,产生具有一个(或若干)电子伏特的能量的电子103。在所述电子离开光电阴极102且通过电场加速之后,所述电子朝向电子倍增器电极105及阳极106(或在电子轰击图像传感器中的图像传感器)行进。由于其速率的量值及方向归因于其初始动能(例如,一或多个电子伏特)而扩展,电子103随着其朝向下一表面行进而横向扩展。此外,这些光电子也在不同时间到达所述表面。

[0010] 在图像传感器中,这些不同到达时间导致图像的模糊。在PMT 100中,这些不同到达时间减慢PMT的响应时间,因为单一经吸收的光子导致(至少部分)归因于电子的到达时间中的扩展而在时间上展延的电流的脉冲。PMT 100的另一缺点在于为检测单一光子,需要多个增益级(电子倍增器电极105)以使来自单一光子的信号大于背景噪声。多个电子倍增器电极进一步减慢PMT 100的响应时间。此外,使用大部分常规光电阴极检测单一光子需要在暴露到亮光之后在暗电流安定到低电平之前的暗调适时间的周期。一些光电阴极需要冷却以将暗电流降低到允许单一光子的可靠检测的电平。

[0011] 因此,需要在UV波长下具有高量子效率同时产生具有低能量扩展的电子的光电阴极。还需要并入此高效、低电子能量扩展的光电阴极的PMT。还需要具有单一光子敏感性、快速响应及从高水平的光快速恢复到完全敏感性的PMT。还需要具有高量子效率、高空间分辨率及低噪声的电子轰击图像传感器(例如,电子轰击电荷耦合装置(CCD)或电子轰击CMOS图像传感器)。还需要使用UV波长且并入高效率、低噪声的PMT、EBCCD或电子轰击CMOS图像传感器的暗场晶片、光掩模或分划板检验系统。

发明内容

[0012] 描述并入高效、低电子能量扩展的光电阴极的光倍增管。此光倍增管包含半导体光电阴极及光电二极管。显著地,所述光电二极管包含:p掺杂型半导体层;n掺杂型半导体层,其形成于所述p掺杂型半导体层的第一表面上以形成二极管;及纯硼层,其形成于所述p掺杂型半导体层的第二表面上。在所述半导体光电阴极与所述光电二极管之间的间隙可为小于约1毫米或小于约500微米。

[0013] 在一个实施例中,所述半导体光电阴极可包含氮化镓。举例来说,所述半导体光电阴极可包含一或多个p掺杂型氮化镓层。在另一实施例中,所述半导体光电阴极可包含硅。此半导体光电阴极可进一步包含在至少一个表面上的纯硼涂层。

[0014] 还描述用于检验样品的系统。此系统包含用于产生光的激光系统。第一组件将所述光引导到所述样品。第二组件将光从所述样品引导到一或多个检测器。至少一个检测器包含光倍增管,所述光倍增管并入高效、低电子能量扩展的光电阴极,如本文中所描述。

[0015] 与不具有电子倍增器电极或微通道板的现有技术装置相比,在本文中描述的所述PMT及图像传感器具有更高增益,且与使用电子倍增器电极或微通道板的现有技术装置相比,在本文中描述的所述PMT及图像传感器具有更快响应时间。与具有类似增益的现有技术装置相比,在本文中描述的所述图像传感器可具有更高空间分辨率。在本文中描述的所述

PMT及图像传感器比许多现有技术装置更简单且因此制造可更便宜且可具有更长操作寿命。

[0016] 小缺陷散射低水平的光。更敏感的检测器允许暗场检验系统检测更小缺陷或粒子。具有更好空间分辨率的检测器允许暗场检验系统检测更小缺陷或粒子。具有更快响应时间的检测器允许系统更快运行且降低检验时间,由此增大所述系统对于最终用户的价值。

附图说明

[0017] 图1说明包含光电阴极、聚焦电极、多个电子倍增器电极及阳极的已知PMT。

[0018] 图2说明包含光电阴极、任选的聚焦电极及光电二极管(全部包含于真空密封管内)的PMT。

[0019] 图3A及3B说明适用于在本文中描述的PMT及图像传感器系统中的光电阴极的横截面。

[0020] 图4说明适用于在本文中描述的PMT中的光电二极管的横截面。

[0021] 图5说明示范性电子轰击图像传感器系统。

[0022] 图6说明适用于在图5中展示的图像传感器系统中的示范性后薄化图像传感器的横截面。

[0023] 图7A及7B说明适合于与在本文中描述的PMT或图像传感器系统一起使用的具有多个收集系统的示范性暗场检验系统。

[0024] 图8说明可用于检验表面上的异常的示范性表面检验系统。

[0025] 图9说明经配置以使用法向照明光束及斜照明光束实施异常检测的示范性检验系统。

[0026] 图10说明添加到示范性折反射成像系统的法向入射激光暗场照明。

具体实施方式

[0027] 图2说明PMT 200,其包含光电阴极202、任选聚焦电极204及光电二极管205,所有这些均包含于真空密封管209内。显著地,光电二极管205在其面向光电阴极202的表面上具有薄(例如,约2纳米到20纳米厚)纯硼涂层。光电二极管205保持在相对于光电阴极202的正电压下。举例来说,在一个实施例中,光电二极管205可处于接近于接地电势的电压下,而光电阴极202可处于相对于光电二极管205的负电压(例如,在约100伏特与约500伏特之间的负电压)。入射光子201由光电阴极202吸收且将有可能导致从光电阴极202射出电子203。由于光电阴极202与光电二极管205之间的电势差,电子203将朝向光电二极管205加速。由于在光电二极管205的表面的纯硼涂层(在下文中详细描述),撞击光电二极管205的任何电子将具有几乎100%的被吸收且在光电二极管205中产生多个电子的概率。

[0028] 在一些实施例中,在光电阴极202与光电二极管205之间的间隙可为若干毫米。在一些优选实施例中,在光电阴极202与光电二极管205之间的间隙可为约1毫米,或几百微米。

[0029] 在一些实施例中,聚焦电极204可用以确保从光电阴极202射出的电子203的高百分比被朝向光电二极管205引导。当光电阴极202与光电二极管205之间的间隙大于约1毫米

时,聚焦电极204可尤其有用。在一些实施例中,当光电阴极202与光电二极管205之间的间隙为约1毫米或更小时,可不需要聚焦电极204。聚焦电极204可包括圆柱、网或另一电极结构。

[0030] 在优选实施例中,光电阴极202包括GaN光电阴极或涂布硼的硅光电阴极。2013年7月22日由庄(Chuang)等人申请的标题为“包含带有硼层的硅衬底的光电阴极(PHOTOCATHODE INCLUDING SILICON SUBSTRATE WITH BORON LAYER)”的美国专利申请案13/947,975(代理人案号KLA-049P3966)描述适用于本文中所描述的改进PMT中的示范性涂布硼的硅光电阴极。在其它实施例中,光电阴极202可包含一或多个碱金属或可包括在技术中已知的另一光电阴极材料。光电阴极202可为透射光电阴极(如在图2中所说明)或其可为反射光电阴极。

[0031] 图3A及3B说明适用于在本文中描述的PMT及图像传感器系统中的光电阴极的横截面。

[0032] 图3A说明在衬底301上包含多个层的GaN光电阴极300的横截面。衬底301可包含蓝宝石衬底或高p掺杂型GaN衬底(例如,具有约 10^{18} 原子/立方厘米或更大的掺杂浓度)。在优选实施例中,衬底301的厚度可在约100微米与约600微米之间。当在透射模式中使用光电阴极300时,衬底301那时必须具有高光学质量以便其透射所关注的波长范围。当在反射模式中使用光电阴极300时,衬底的光学质量较无关紧要。举例来说,如果衬底301为蓝宝石衬底且光电阴极300将在透射模式中用于深UV波长,那么衬底301应使用非常高纯度的蓝宝石。

[0033] 在一些透射模式的光电阴极实施例中,抗反射层309可沉积于衬底301的第一表面上。在一些实施例中,抗反射层309可包括包含氟化镁(MgF_2)、二氧化硅(SiO_2)及/或氧化铪(HfO_2)的一或多个层。

[0034] 在一些实施例中,缓冲层302形成(例如,生长或沉积)于衬底301的第二表面上。当衬底301为掺杂型氮化镓(GaN)衬底时,则可不需要缓冲层。在优选实施例中,缓冲层302为厚约5纳米到20纳米的氮化铝(AlN)的层。

[0035] 在缓冲层302(或衬底301,如果不存在缓冲层302)的顶部上为多个掺杂型GaN层303及304。第一掺杂型GaN层303可包含具有约 10^{18} 原子/立方厘米的高掺杂浓度的GaN的p掺杂型层。用于第一掺杂型GaN层303的优选p型掺杂剂为镁(Mg)。第二p掺杂型GaN层304可包含低很多的掺杂剂浓度(例如,约 5×10^{16} 原子/立方厘米的掺杂剂浓度)。在一些实施例中,额外p掺杂型GaN层可放置于层303与304之间。所述额外层中的每一者应具有在层303与304的掺杂剂浓度之间的中间值的掺杂剂浓度,以便形成从层303到层304的逐步减小的掺杂剂浓度。举例来说,如果层303具有约 10^{18} 原子/立方厘米的掺杂剂浓度且层304具有约 5×10^{16} 原子/立方厘米的掺杂剂浓度,那么具有约 2×10^{17} 原子/立方厘米的掺杂剂浓度的层(未展示)可放置于层303与304之间。在优选实施例中,p掺杂型GaN层的厚度应彼此类似。所有p掺杂型GaN层的总厚度(例如,如果仅使用两个层,那么层303及304的厚度的总和)应经确定以最大化量子效率。举例来说,针对在深UV中具有最大敏感性的光电阴极,所有p掺杂型GaN层的总厚度可为约180纳米。在“针对较高量子效率优化GaN光电阴极结构(Optimizing GaN photocathode structure for higher quantum efficiency)”(《光学器材(Optik)》,123,第756-768页,2012年)中描述示范性GaN光电阴极。在一个实施例中,标准Cs:O活化层306可沉积于光电阴极300的射出电子的表面上。

[0036] 图3B说明硅光电阴极310的横截面。在透射模式中,光子318入射于光电阴极310的一个表面上且电子319从相对表面射出。在反射模式中,光子318'入射于如射出电子的相同表面上。在一个实施例中,硅光电阴极310包含硅311,优选地,硅的单晶体。在一些实施例中,硅光电阴极310包含复晶硅或多晶硅。取决于光电阴极的既定波长操作范围,硅311可具有在约10纳米与约100微米之间的厚度。

[0037] 当既定用作透射模式光电阴极时,在光318入射侧上的硅表面可任选地涂布有抗反射(AR)层313。示范性AR层313可包含具有透明或半透明材料(例如 MgF_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3 及 HfO_2)的一或多个层。对于既定在透射模式中在深UV波长或真空UV波长下操作的一些实施例,在AR层313与硅311之间可存在薄纯硼层312。此纯硼层312可具有在约2纳米与4纳米之间的厚度。

[0038] 在射出电子的表面的硅311涂布有薄纯硼层314。纯硼层314优选地具有在约2纳米与20纳米之间的厚度。在一个实施例中,标准Cs:O(铯:氧)活化层316可沉积于光电阴极的射出电子的表面上。

[0039] 在上文引用的2013年7月22日申请的标题为“包含带有硼层的硅衬底的光电阴极(PHOTOCATHODE INCLUDING SILICON SUBSTRATE WITH BORON LAYER)”的美国专利申请案13/947,975中描述适用于PMT或电子轰击图像传感器系统中的示范性硅光电阴极结构。

[0040] 图4说明适用于在本文中描述的PMT中的光电二极管400的横截面。应注意,尽管此二极管在本文中称为光电二极管,但应理解,在本文中揭示的PMT中,其实际上检测电子且将入射电子转换为电流,而非直接检测光子。结构、功能及相关联电路类似于用于光电二极管的那些结构、功能及相关联电路,因此将其称为光电二极管是方便的。还应注意,此横截面未按比例绘制,而仅旨在说明在本文中描述的PMT中使用的光电二极管装置的结构的重要方面。

[0041] 光电二极管400包括通过p掺杂型半导体层404(阳极)接触n掺杂型半导体层403(阴极)而形成的pn或pin结。在优选实施例中,n掺杂型半导体层403为轻微n掺杂的(在图4中命名为N掺杂型)。n掺杂可使用磷、砷或另一n型掺杂剂完成。用于p掺杂型半导体层404的p掺杂可使用硼或另一p型掺杂剂完成。纯硼层406形成于p掺杂型半导体层404的表面上。在一些实施例中,单独的p植入或掺杂步骤可为不必要的,这是因为在纯硼层406的沉积期间足够硼可扩散到p掺杂型半导体层404的表面中。

[0042] 形成与阳极及阴极的电连接401。为具有与阴极的低电阻接触,高n掺杂型半导体层402(在图4中命名为N+掺杂型)可形成于N掺杂型半导体层403的表面上。为具有与阳极的低电阻接触,包括例如半金属(例如,氮化钛(TiN))或金属的薄(例如厚约1纳米与约20纳米之间)导电材料的覆盖层408可形成于纯硼层406的表面上。在一些实施例中,可省略覆盖层408,这是因为p掺杂型半导体层404的表面的导电性是充足的。这可为当PMT仅既定在低光水平操作且从不暴露到高光水平时的情况,因为在此类情况中光电二极管的电流将始终保持相对低。当PMT可暴露到高光水平时(即使偶尔),覆盖层408可提供降低光电二极管400的阳极表面的充电及保护纯硼层406免受入射电子409溅射的额外优势。

[0043] 在一个实施例中,厚纯硼层406(例如,约2纳米到20纳米)可直接形成于p掺杂型半导体层404的顶部上。纯硼层406允许低能量的电子穿透到p掺杂型半导体层404中。纯硼层406覆盖其中电子将入射且无针孔的整个区域是重要的,借此防止在半导体的表面上生长

原生氧化膜。应注意,原生氧化膜在被电子击中时将充电且可排斥低能量的电子,借此极大降低当PMT在低电压下操作时光电二极管的敏感性。PMT在低电压下的操作是重要的,这是因为其允许在光电阴极与光电二极管之间的小间隙,因此随着电子花费更少时间穿越所述间隙而加速PMT的响应时间。此外,在光电阴极与光电二极管400之间的低电压差最小化可由高能电子导致的对纯硼层406及p掺杂型半导体层404的溅射及损害。

[0044] 纯硼层406的质量对于光电二极管的最佳性能至关重要。在纯硼层的沉积之前应从p掺杂型半导体层404的表面清除污染物及原生氧化物。可在萨鲁比 (Sarubbi) 等人的“用于受控纳米深度p+-n结形成的a-硼层在硅上的化学气相沉积Chemical vapor deposition of a-boron layers on silicon for controlled nanometer-deep p+-n junction formation”(《电子材料杂志(J.Electron.Material)》)第39卷第162-173页,2010年)中找到关于硼沉积的更多细节。在优选实施例中,光电二极管400经反向偏置(即,阳极相对于阴极稍微为负)操作以便具有快速响应及低暗电流。

[0045] 图5说明示范性电子轰击图像传感器系统501。在此实施例中,整个组合件可包含于密封管505(例如,实质上类似于标准图像增强器及电子轰击CCD(EBCCD)装置的密封管)中。管505的顶面507可包含在所关注的波长下是透明的窗。对于UV敏感性电子轰击图像传感器,此窗优选地包括高纯度等级的石英、熔融硅石或氧化铝(蓝宝石)。在一些优选实施例中,窗的外侧表面涂布有UV抗反射涂层。此涂层可包括具有低折射率材料(例如MgF₂)的单层或可包括多层涂层。

[0046] 光电阴极504涂布于窗的内部表面上或放置成紧邻所述内部表面。光电阴极材料可实质上类似于在技术中已知用于光倍增器、图像增强器或现有技术的EBCCD检测器中的任何光电阴极材料。在优选实施例中,光电阴极504可包括一或多个碱金属(例如铯)及/或可包括半导体(例如GaN、GaAs或硅)。光电阴极504可相对于固态图像传感器502保持在负电压503下,固态图像传感器502定位于密封管505的底面附近。在一些实施例中,负电压503可为约500伏特;在其它实施例中,其可为几百伏特或约1000伏特。在优选实施例中,负电压503在100伏特与1500伏特之间。

[0047] 固态图像传感器502可为薄化CCD或CMOS图像传感器,其经定向以使电子首先撞击其背侧表面。固态图像传感器502的背侧包含直接沉积于图像阵列的外延生长层上的硼层。在一些实施例中,导电材料(例如耐火金属)的薄(几纳米)层经沉积于硼层上,以防止传感器表面的充电。与非耐火金属相比,耐火金属(例如,钛、钨、钽、铪、钽、钒或铬)具有优势,这是因为耐火金属的硬度使其抵抗电子的溅射,且其在室温下相对抗氧化。在一些实施例中,固态图像传感器502为延时积分(TDI) CCD。在一些实施例中,固态图像传感器502包括电子敏感元件的线性阵列。在其它实施例中,固态图像传感器502包括电子敏感元件的二维阵列。在一些优选实施例中,固态图像传感器502保持接近于接地电势(所展示)。

[0048] 当光510入射于电子轰击图像传感器系统501上时,从光电阴极504发射一或多个光电子520。在实质上所有方向上发射这些光电子,但其通过光电阴极504与固态图像传感器502之间的电势差而朝向固态图像传感器502加速。在优选实施例中,光电阴极504与固态图像传感器502之间的间隙小于1毫米。在一些实施例中,间隙为约500微米。

[0049] 并入具有在本文中描述的结构中的一者及/或根据在本文中描述的任何方法制造的固态图像传感器502使得电子轰击图像传感器系统501能够凭借在光电阴极504与固态图

像传感器502之间的低电势差操作,且仍具有高增益,因为与穿透二氧化硅层相比,电子更容易能够穿透(图像传感器502的)硼层。由于硼掺杂型硅、硅化硼及硼均至少部分导电,因此最小化或避免在电子轰击下的表面的充电。可通过在硼层的顶部上的导电层或金属层进一步降低对充电的敏感性,如在本文中所描述。

[0050] 在现有技术的EBCCD传感器中,在光电阴极与图像传感器之间的间隙通常为1-2毫米。归因于电子从光电阴极出现时的能量,当电子从光电阴极行进到图像传感器时,此大间隙允许电子的显著横向运动。由于光电阴极与图像传感器之间的大电势差(通常约2000伏特或更大),1-2毫米或更大的间隙是必要的。降低光电阴极与图像传感器之间的电势差允许使用更小间隙。此外,电子的更低能量意味着在固态图像传感器内所产生电子的更少扩展。

[0051] 到达图像传感器502的电子的低能量意味着从图像传感器502的表面烧蚀原子的概率低到零。此外,到达固态图像传感器502的电子的能量不足以从硅产生X射线,由此避免在图像传感器502的附近像素中产生伪信号。

[0052] 与高能量电子相比,低能量电子与在密封管505中建立的真空中的残余气体原子的碰撞将产生更少离子。此外,归因于光电阴极504与图像传感器502之间的低电势差,当所述离子撞击光电阴极时,所述离子将具有更少动能且将烧蚀更少光电阴极材料。

[0053] 可在2013年3月10日申请且在2013年10月10日公开的标题为“带有硼层的背照式传感器(Back-illuminated sensor with boron layer)”的美国公开申请案2013/0264481中找到图像传感器系统501的更多细节。可在2012年12月10日申请且在2013年6月13日公开的标题为“电子轰击电荷耦合装置及使用EBCCD检测器的检验系统(Electron-bombarded charge-coupled device and inspection systems using EBCCD detectors)”的美国公开申请案2013/0148112中找到可并入到图像传感器系统501中的电子轰击图像传感器的额外细节。这些申请案皆以引用的方式并入本文中。

[0054] 图6说明适用于图像传感器系统501(图5)中的示范性后薄化图像传感器600的横截面。在一个实施例中,外延生长(epi)层602形成于衬底601的前侧上。在一个实施例中,衬底601为p+(即,高p掺杂型)衬底,且外延生长层602为p-(即,具有低浓度的p掺杂剂的层)外延生长层。一或多个栅极电介质层(例如,栅极氧化层603及氮化硅(Si_3N_4)栅极层604)可形成于外延生长层602上。应注意,取决于图像传感器技术的类型,栅极电介质层中的每一者可包括一个、两个或三个层。前侧电路元件605可形成于栅极层604上。形成前侧电路元件605可包含植入或掺杂外延生长层602的前侧的部分且可涉及图案化栅极层603及604。前侧金属(即,互连件)607可形成于前侧电路元件605上。

[0055] 如在图6中所展示,从衬底601的后侧表面(至少在某些区域中)薄化衬底601,以使电子可直接撞击在外延生长层602上。在一个实施例中,纯硼层606(例如,厚约2纳米与约20纳米之间)形成于薄化衬底601上及外延生长层602的暴露部分上。在一些实施例中,覆盖层608可形成于纯硼层606上。覆盖层608可包含薄导电膜,此层为厚度在约1纳米与约20纳米之间的金属或半金属。

[0056] 可在2013年3月10日申请的标题为“带有硼层的背照式传感器(Back-illuminated sensor with boron layer)”的美国专利申请案13/792,166中找到图像传感器600的更多细节及替代实施例以及制造图像传感器600的方法。

[0057] 图7A及7B说明适合于使用本文中描述的PMT或图像传感器的具有多个收集系统的示范性暗场检验系统。

[0058] 图7A说明示范性表面检验设备700,其包含照明系统701及收集系统710以用于检验样品表面711的区域。如在图7A中所展示,激光系统720引导光束702穿过透镜703。透镜703经定向使得其主要平面实质上平行于表面711且因此照明线705在透镜703的焦点平面中形成于表面711上。另外,以相对于表面711的非正交入射角度引导光束702及聚焦光束704。特定来说,可以与相对于表面711的法线方向成约1度与约85度之间的角度引导光束702及聚焦光束704。以此方式,照明线705实质上处于聚焦光束704的入射平面中。

[0059] 收集系统710包含用于收集从照明线705散射的光的透镜712及用于将从透镜712射出的光聚焦到装置714上的透镜713。装置714可包含光敏感检测器的阵列(例如,PMT的阵列)或电子轰击图像传感器。在优选实施例中,PMT或电子轰击图像传感器包括硼涂布检测器(例如,硼涂布光电二极管)或硼涂布图像传感器,如在本文中所描述。在优选实施例中,PMT或图像传感器可进一步包括GaN或硅光电阴极,如在本文中所描述。在装置714内的检测器的线性阵列可经定向以平行于照明线705。在一个实施例中,可包含多个收集系统,其中收集系统中的每一者包含类似组件,但定向不同。

[0060] 举例来说,图7B说明用于表面检验设备的收集系统731、732及733的示范性阵列(其中为简明起见,未展示表面检验设备的照明系统(例如,类似于照明系统701))。在收集系统731中的第一光学器件从表面711的表面收集在第一方向上散射的光。在收集系统732中的第二光学器件从表面711收集在第二方向上散射的光。在收集系统733中的第三光学器件从表面711收集在第三方向上散射的光。应注意,第一路径、第二路径及第三路径处在相对于表面711的不同反射角度。支撑样品的平台735可用于导致光学器件与表面711之间的相对运动以便可扫描整个表面。收集系统731、732及733中的至少一者可包含光敏感检测器的阵列(例如,PMT的阵列)或电子轰击图像传感器,如在本文中所描述。美国专利7,525,649(其在2009年4月28日发布且以引用的方式并入本文中)进一步详细描述表面检验设备700及其它多个收集系统。

[0061] 图8说明可用于检验表面801上的异常的示范性表面检验系统800。在此实施例中,可由激光系统830(其产生激光束)的实质上静止的照明装置部分照明表面801。激光系统830的输出可连续通过偏光光学器件821、光束扩展器及光圈822及光束形成光学器件823从而扩展及聚焦光束。

[0062] 接着,所产生的聚焦激光束802通过光束折叠组件803及光束偏转器804反射以引导光束805朝向表面801。在优选实施例中,光束805实质上正交或垂直于表面801,但在其它实施例中,光束805可处在相对于表面801的斜角。

[0063] 在一个实施例中,光束805实质上垂直或正交于表面801且光束偏转器804将光束的镜面反射从表面801反射朝向光束转向组件803,借此充当屏蔽以防止镜面反射达到检测器(在下文中描述)。镜面反射的方向是沿着线SR,线SR法向于样品的表面801。在光束805法向于表面801的一个实施例中,此线SR与光束805的方向重合,其中此共同参考线或方向在本文中称为表面检验系统800的轴。在光束805处在相对于表面801的斜角的情况下,镜面反射SR的方向将不会与光束805的入射方向重合;在此情况中,指示表面法向的方向的线SR称为表面检验系统800的收集部分的主轴。

[0064] 由小粒子散射的光由镜806收集且经引导朝向光圈807及检测器808。由大粒子散射的光由透镜809收集且经引导朝向光圈810及检测器811。应注意,一些大粒子将散射也经收集且引导到检测器808的光,且类似地一些小粒子将散射也经收集且引导到检测器811的光,但与相应检测器经设计以检测的散射光的强度相比,此光具有相对低的强度。在一个实施例中,检测器808及811中的一者或二者可包含PMT或PMT的阵列,如在本文中所描述。在另一实施例中,检测器808及811中的一者或二者包含电子轰击图像传感器,如在本文中所描述。在一个实施例中,检验系统可经配置以用于检测未图案化晶片上的缺陷。美国专利6,271,916(其在2011年8月7日发布且以引用的方式并入本文中)进一步详细描述表面检验系统800。

[0065] 图9说明经配置以使用法向及斜照明光束实施异常检测的示范性检验系统900。在此配置中,激光系统930可提供激光束901。透镜902将光束901聚焦穿过空间滤光器903且透镜904准直光束且将其传递到偏光光束分离器905。光束分离器905将第一偏光分量传送到法向照明通道906且将第二偏光分量传送到斜照明通道912,其中第一分量及第二分量经正交偏光。在法向照明通道906中,第一偏光分量由光学器件907聚焦且由镜908反射朝向样品909的表面。由样品909散射的辐射由抛物面镜910收集且聚焦到检测器911。检测器911包含PMT,如在本文中所描述。

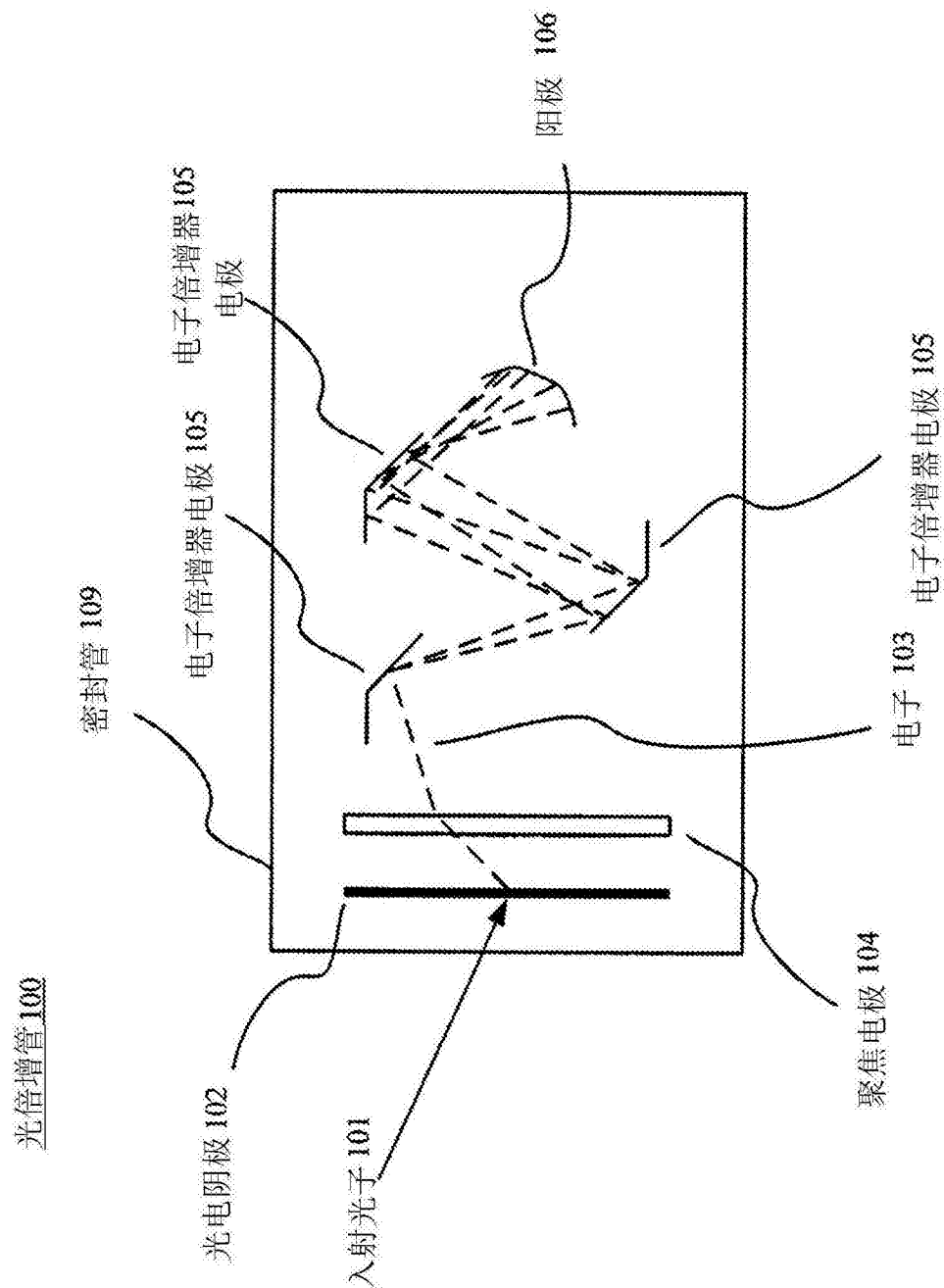
[0066] 在斜照明通道912中,第二偏光分量由光束分离器905反射到镜913,镜913将此光束反射穿过半波板914且由光学器件915聚焦到样品909。源自斜照明通道912中的斜照明光束且由样品909散射的辐射也通过抛物面镜910收集且聚焦到检测器911(其具有针孔入口)。针孔及照射的光点(来自样品909上的法向及斜照明通道)优选地处于抛物面镜910的焦点。应注意,也可使用具有不同于抛物面形状的弯曲镜面表面。

[0067] 抛物面镜910将来自样品909的散射的辐射准直为准直光束916。接着,通过物镜917将准直光束916聚焦穿过分析器918直到检测器911。检测器911可包含一或多个光敏感检测器,例如一或多个PMT或电子轰击图像传感器,如在本文中所描述。仪器920可提供光束与样品909之间的相对运动以跨越样品909的表面扫描光点。美国专利6,201,601(其在2001年3月13日发布且以引用的方式并入本文中)进一步详细描述检验系统900。

[0068] 图10说明添加到示范性折反射成像系统1000的法向入射激光暗场照明。暗场照明包含:UV激光1001;用于控制照明光束大小及表面上被检验的轮廓的调适光学器件1002;在机械壳体1004中的光圈及窗1003;及用于沿着光学轴以法向入射将激光重新引导到样品1008的表面的棱镜1005。棱镜1005也沿着光学路径将来自样品1008的表面特征的镜面反射及来自物镜1006的光学表面的反射引导到图像平面1009。用于物镜1006的透镜可提供为折反射物镜、聚焦透镜组、及缩放管透镜区段的一般形式。在优选实施例中,图像平面1009包含一或多个光敏感检测器,例如一或多个PMT或电子轰击图像传感器,如在本文中所描述。美国专利5,999,310(其在1999年12月7日发布)及美国公开案2007/0002465(其在2007年1月4日公开)进一步详细描述折反射成像系统1000。所述专利及公开案均以引用的方式并入本文中。

[0069] 在上文中描述的结构、方法及系统的各种实施例仅说明本发明的原理且不希望将本发明的范围限制于所描述的特定实施例。举例来说,PMT或电子轰击图像传感器的光电阴极可包括在技术中已知的任何类型的光电阴极。在另一实例中,如在本文中描述的PMT或电

子轰击图像传感器可并入任何测量或检验系统中,不限于在本文中描述的特定系统。在又另一实例中,并入如在本文中描述的PMT或电子轰击图像传感器的检验系统可使用宽带光源,例如激光泵抽等离子光源或电弧灯,而非如在本文中的说明性实例中的激光。因此,仅通过所附权利要求书及其等效物限制本发明。



现有技术

图1

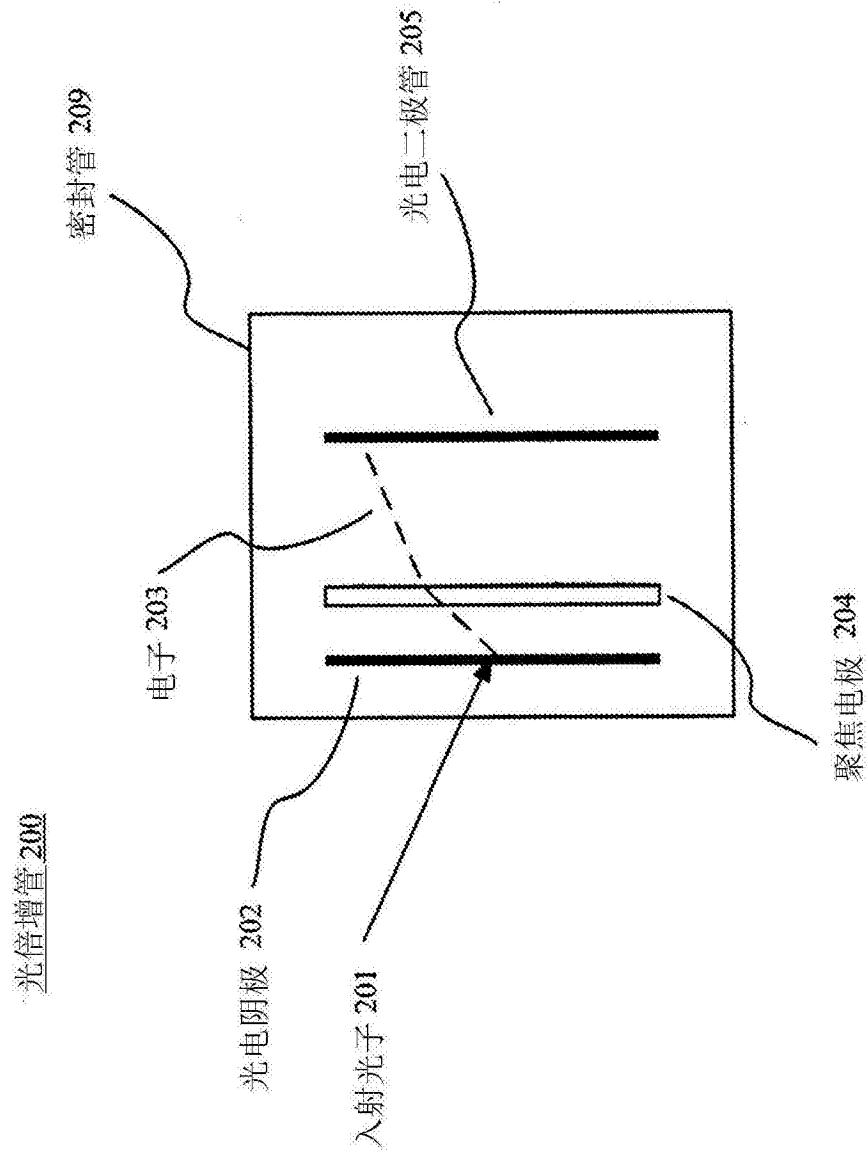


图2

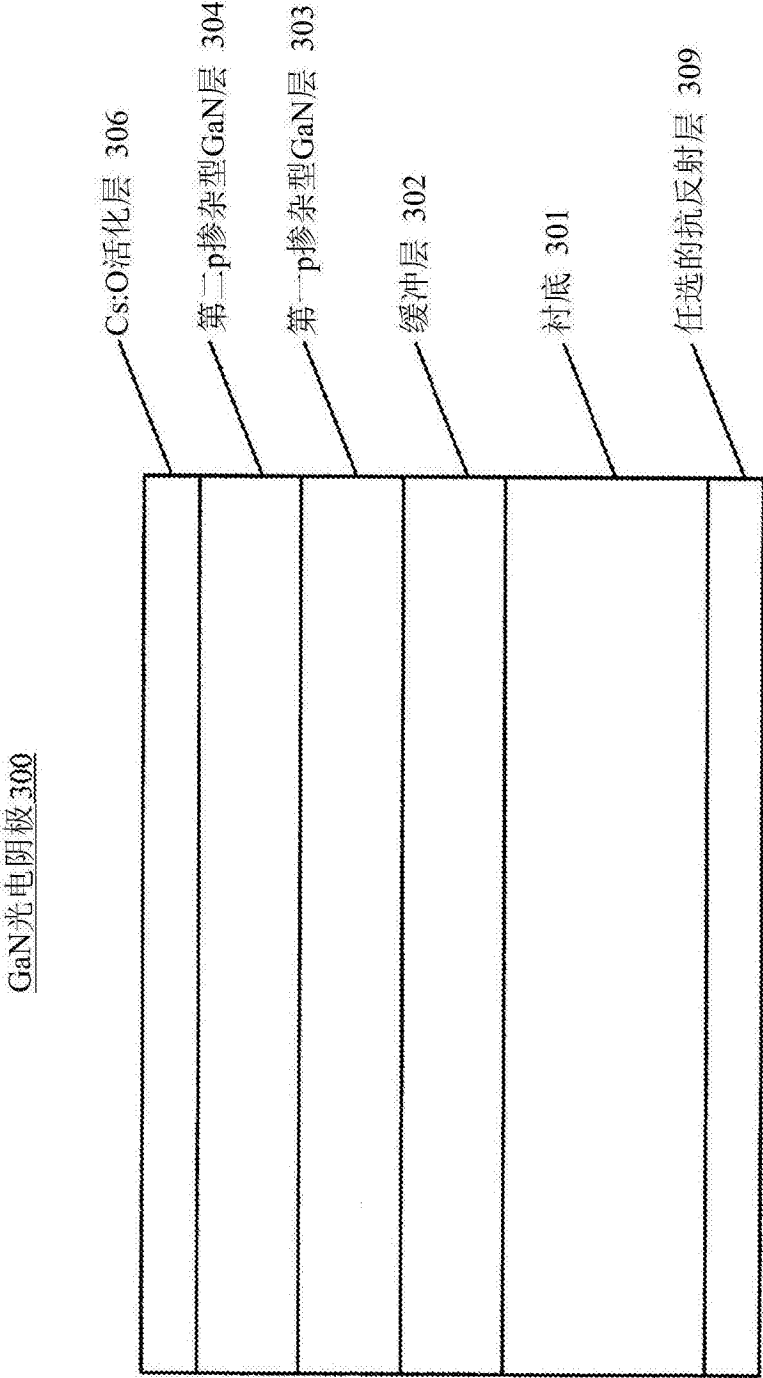


图3A

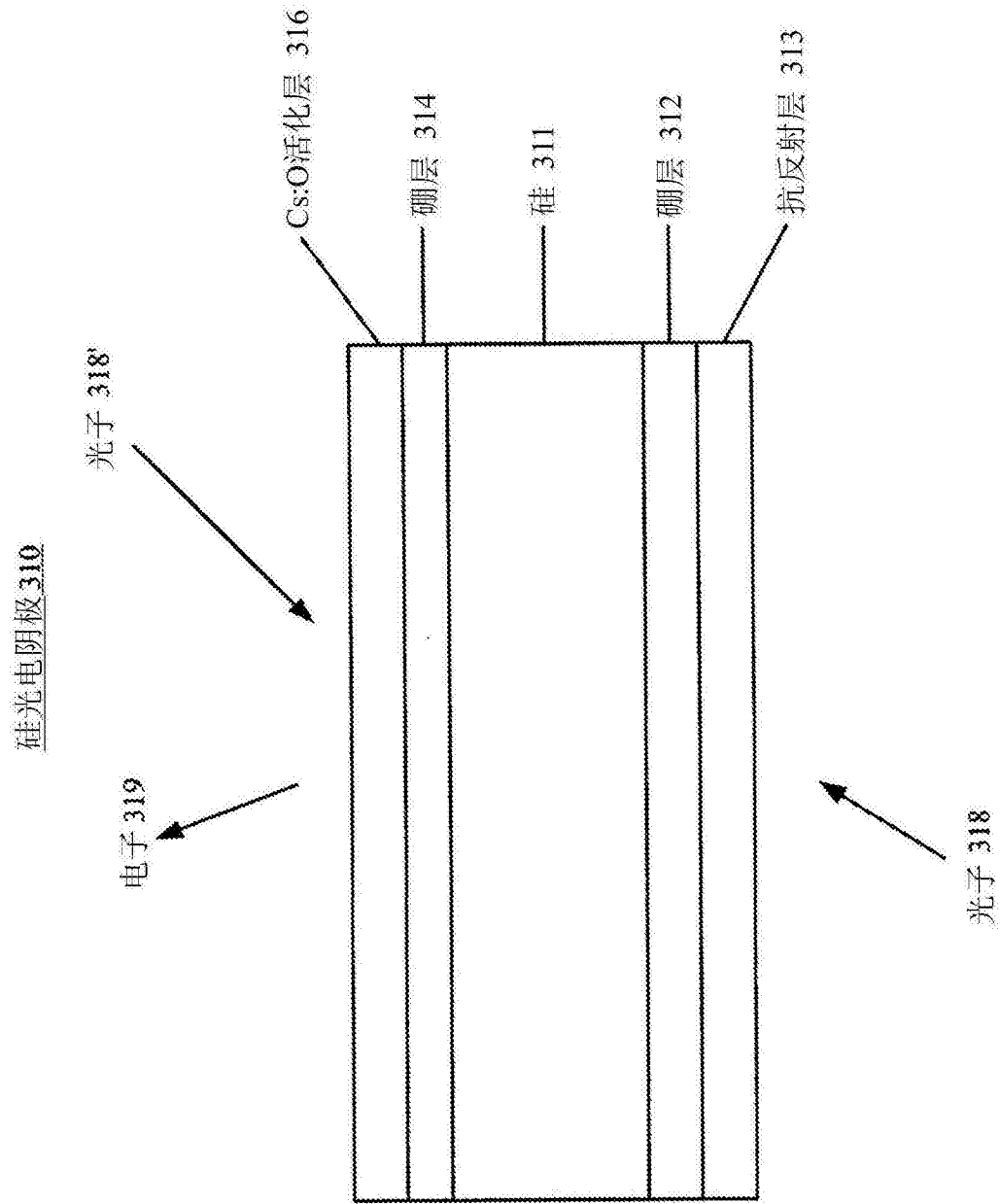


图3B

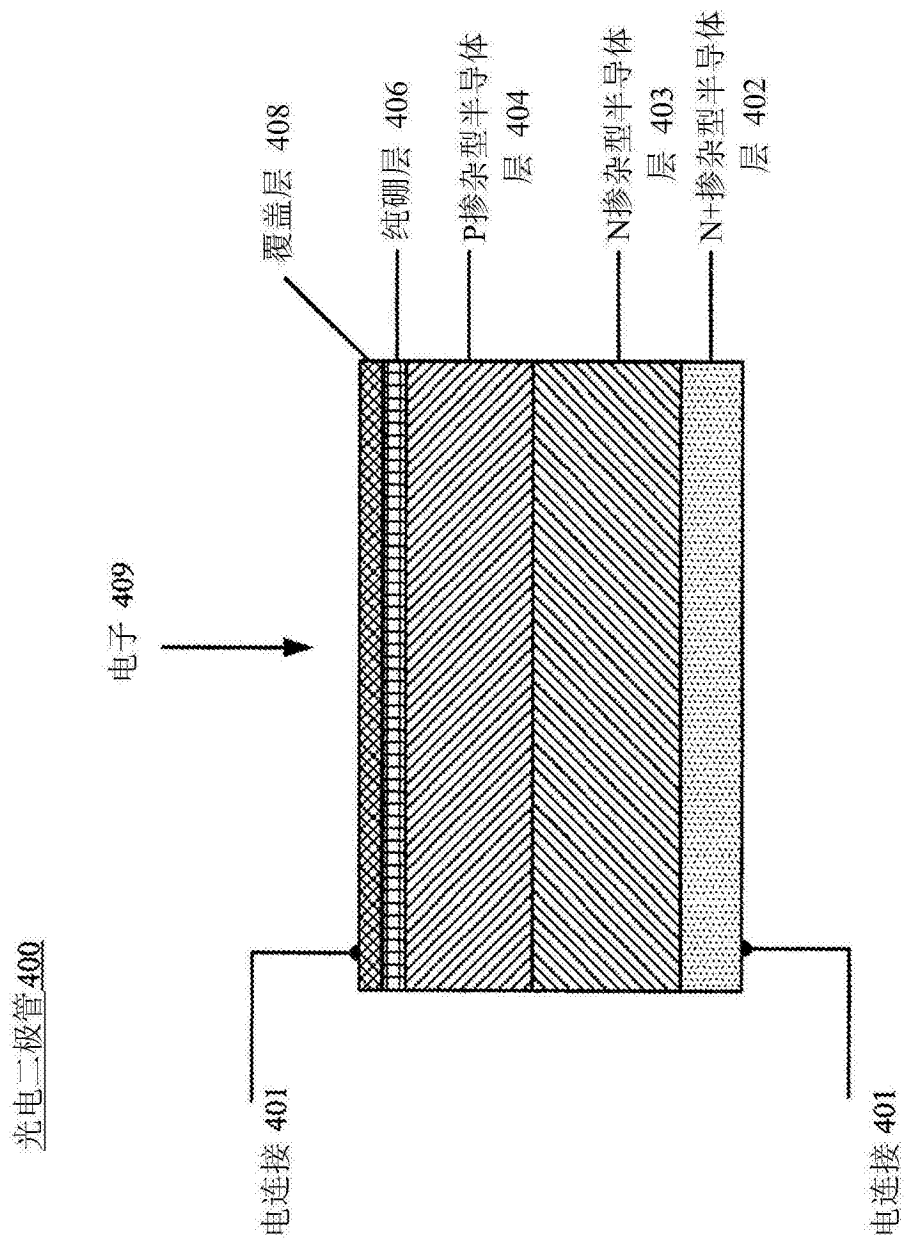


图4

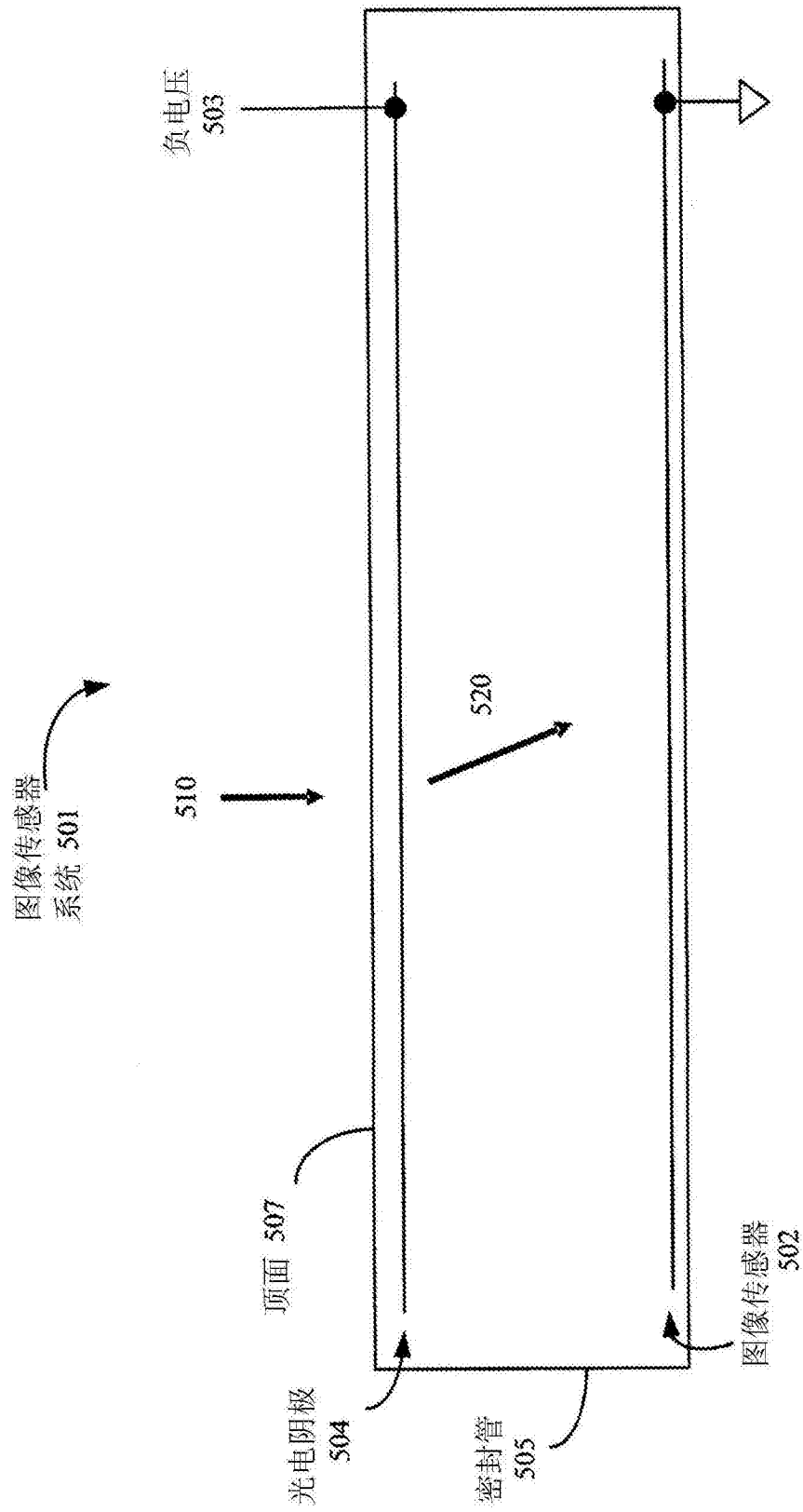


图5

图像传感器 600

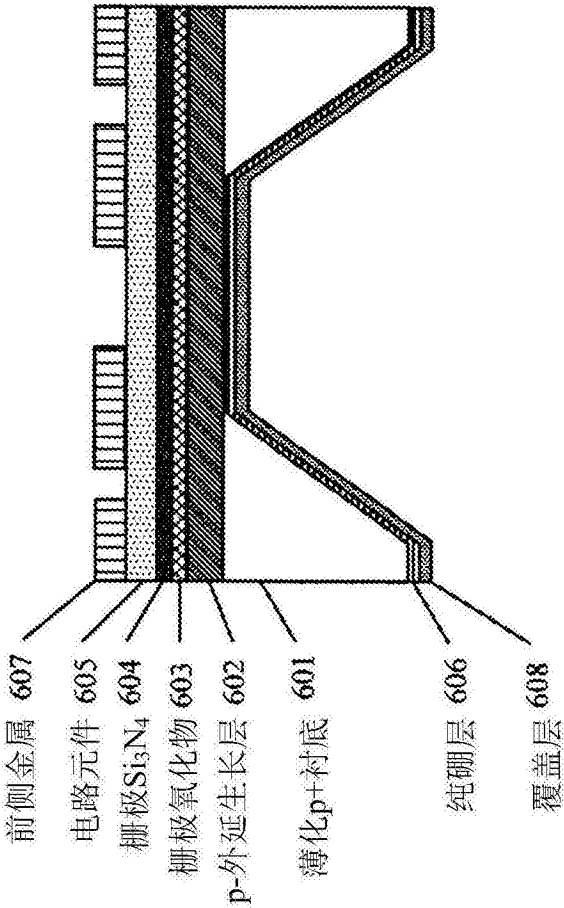


图6

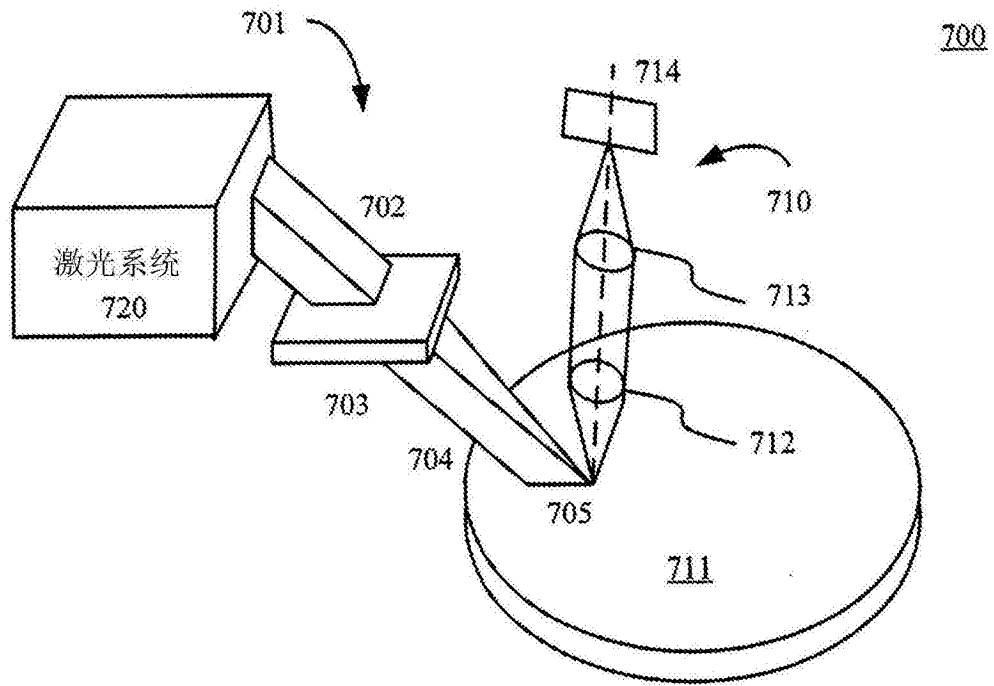


图7A

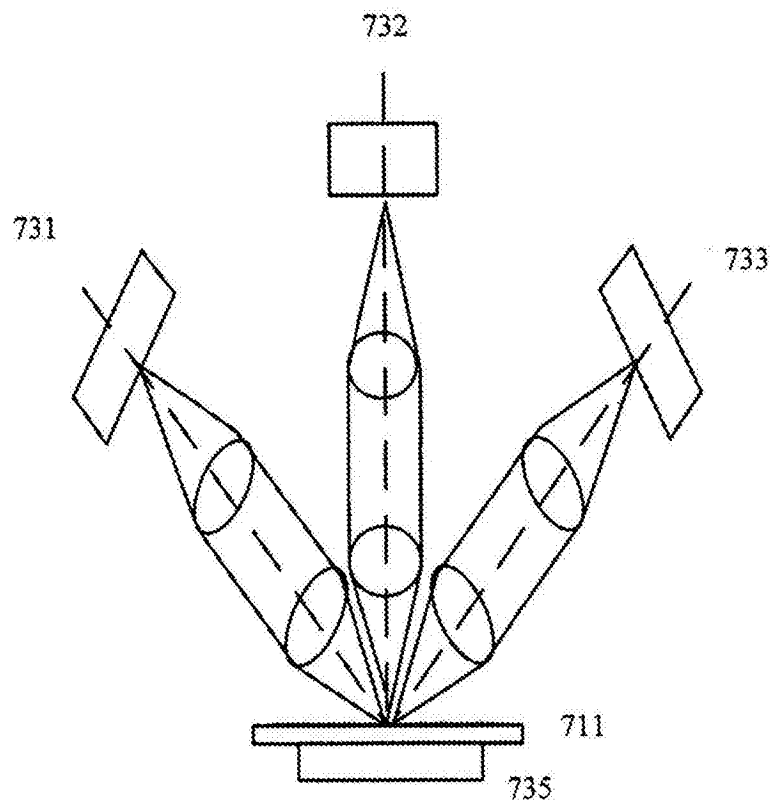


图7B

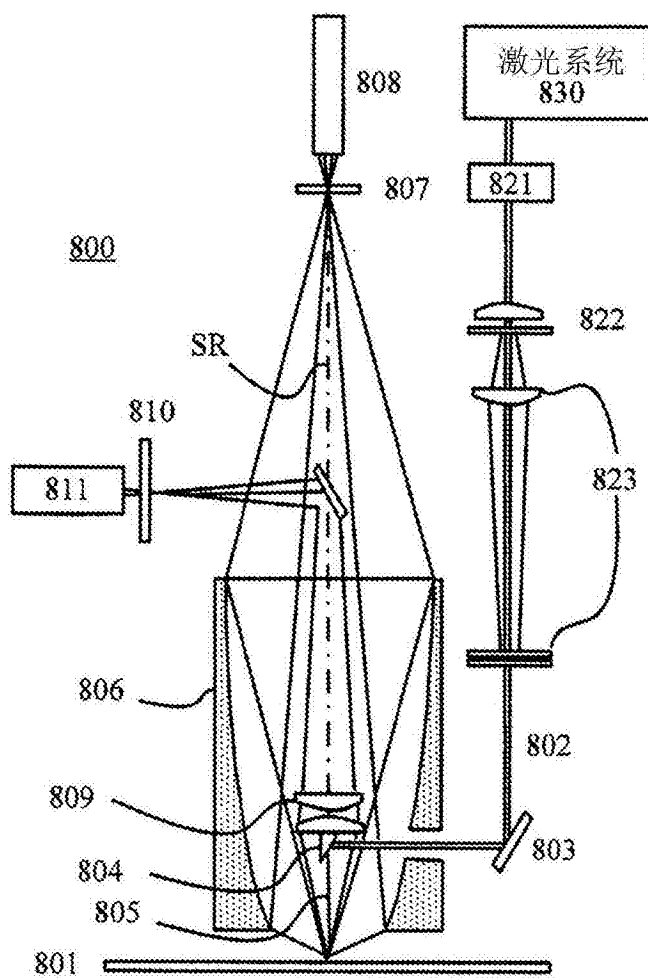


图8

900

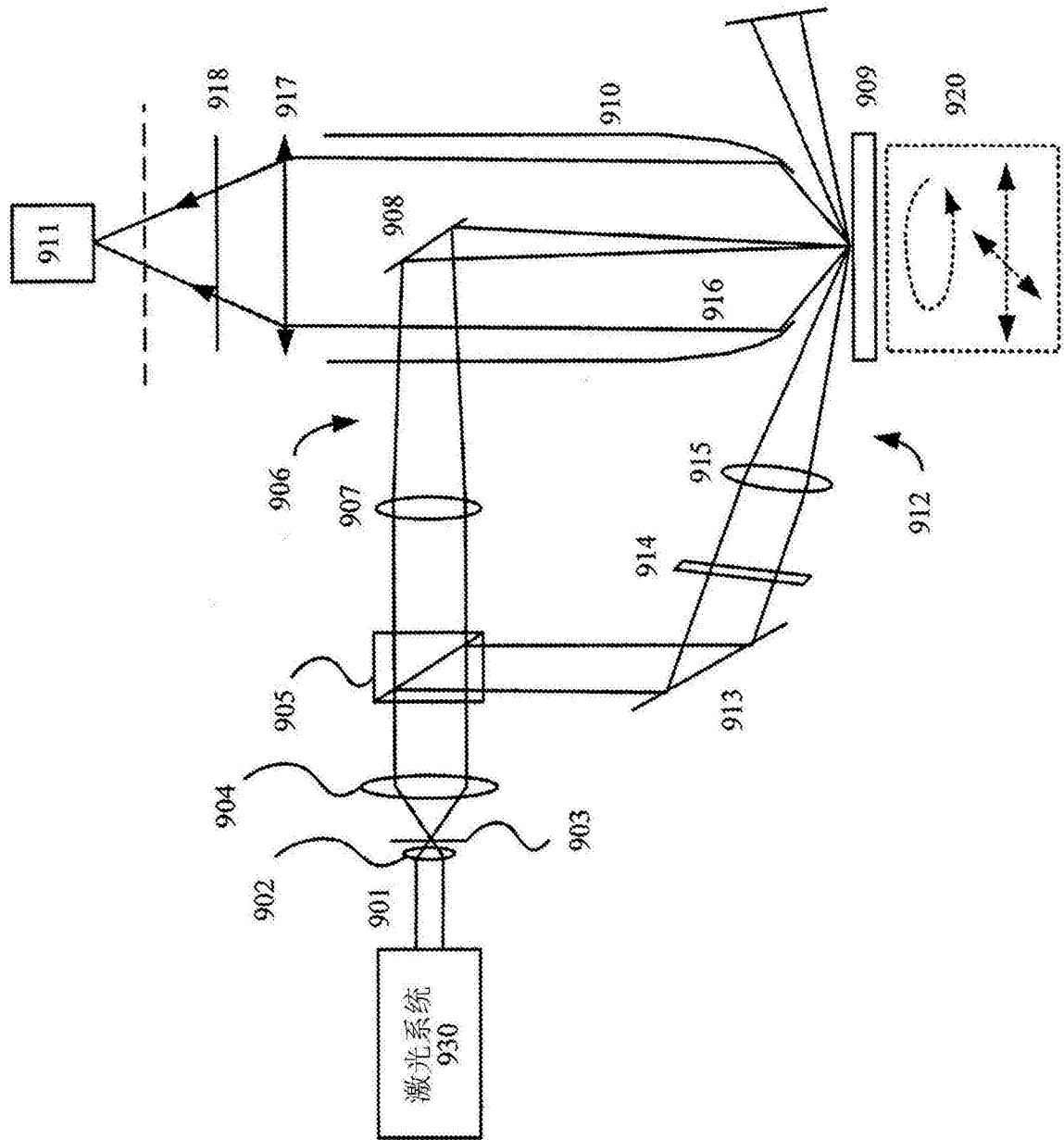


图9

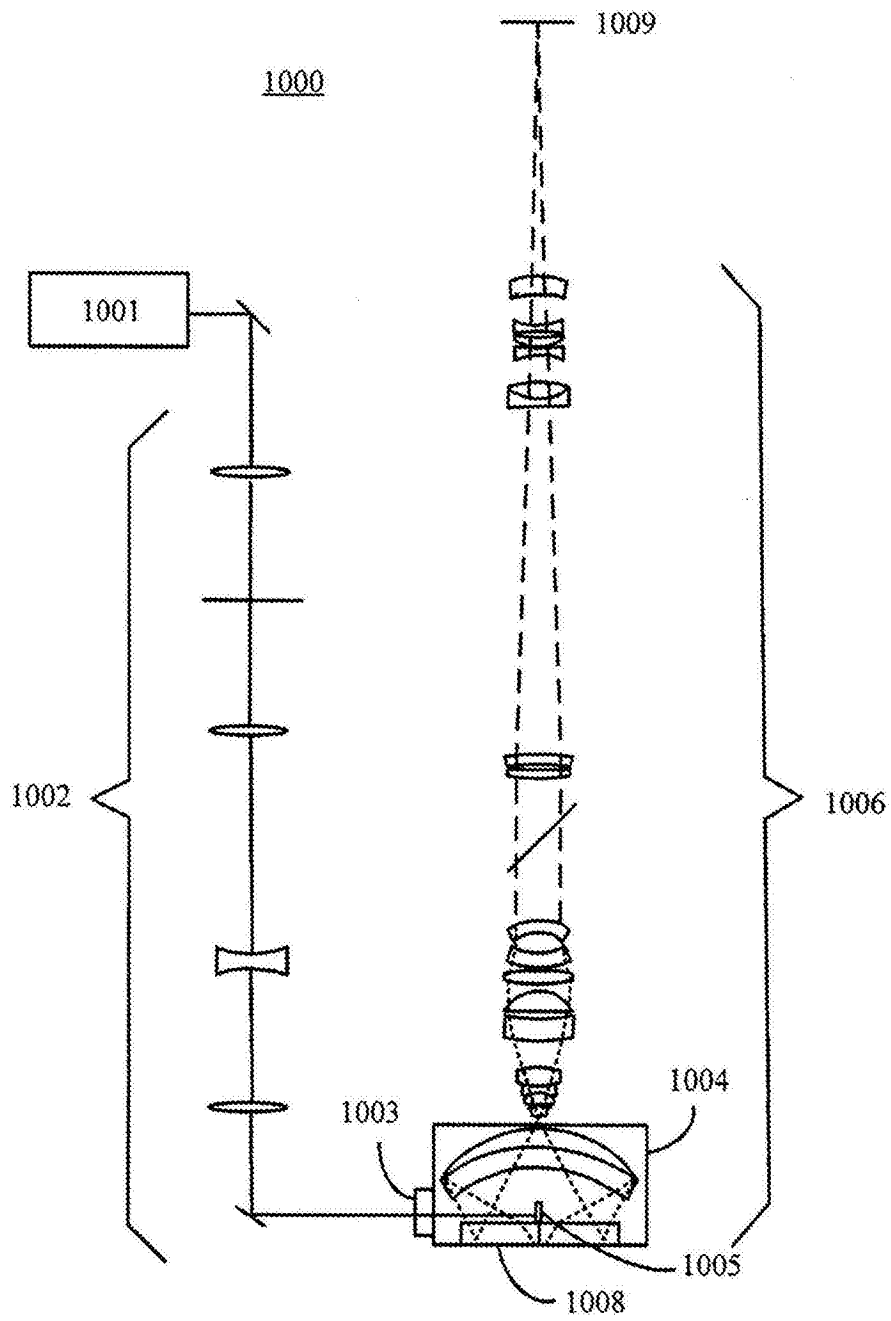


图10